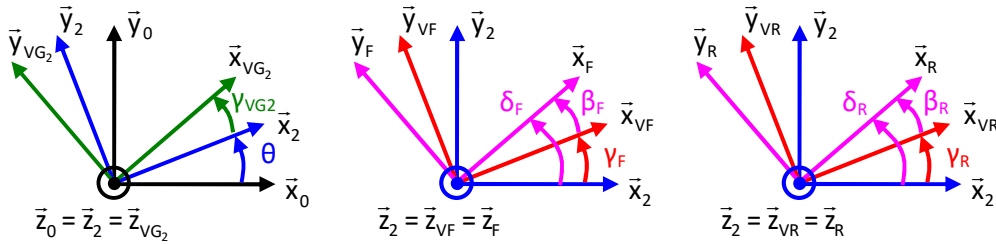


Etude d'un robot autonome de désherbage - Corrigé

Figures géométrales.



Q.1. $\vec{R}_0\vec{R} + \vec{R}\vec{G}_2 + \vec{G}_2\vec{G}_0 + \vec{G}_0\vec{R}_0 = y_R \cdot \vec{y}_0 + L \cdot \vec{x}_2 - y_{G2} \cdot \vec{y}_0 - L \cdot \cos\theta \cdot \vec{x}_0 = \vec{0}$

En projection sur $\vec{y}_0$: $y_R + L \cdot \sin\theta - y_{G2} = 0 \rightarrow y_R = y_{G2} - L \cdot \sin\theta \rightarrow \boxed{y_R = y_{G2} - L \cdot \theta}$ à l'ordre 1.

Q.2. $\vec{F}_0\vec{F} + \vec{F}\vec{G}_2 + \vec{G}_2\vec{G}_0 + \vec{G}_0\vec{F}_0 = y_F \cdot \vec{y}_0 - L \cdot \vec{x}_2 - y_{G2} \cdot \vec{y}_0 + L \cdot \cos\theta \cdot \vec{x}_0 = \vec{0}$

En projection sur $\vec{y}_0$: $y_F - L \cdot \sin\theta - y_{G2} = 0 \rightarrow y_F = y_{G2} + L \cdot \sin\theta \rightarrow \boxed{y_F = y_{G2} + L \cdot \theta}$ à l'ordre 1.

Q.3. $y_R = y_{G2} - L \cdot \theta$ et $y_F = y_{G2} + L \cdot \theta \rightarrow y_F - y_R = 2 \cdot L \cdot \theta \rightarrow \boxed{\theta = \frac{y_F - y_R}{2 \cdot L}}$ à l'ordre 1.

$y_R = y_{G2} - L \cdot \theta$ et $y_F = y_{G2} + L \cdot \theta \rightarrow y_R + y_F = 2 \cdot y_{G2} \rightarrow \boxed{y_{G2} = \frac{y_R + y_F}{2}}$

Q.4. On a $\vec{V}_{G_2,2/0} = \frac{d}{dt} \vec{OG}_2 \Big|_0 = \frac{d}{dt} x_{G2} \cdot \vec{x}_0 + y_{G2} \cdot \vec{y}_0 \Big|_0 = \dot{x}_{G2} \cdot \vec{x}_0 + \dot{y}_{G2} \cdot \vec{y}_0$

D'autre part on a $\vec{V}_{G_2,2/0} = \vec{V}_{G_2} \cdot \vec{x}_{VG_2} = V_{G_2} \cdot \cos(\gamma_{VG_2} + \theta) \cdot \vec{x}_0 + V_{G_2} \cdot \sin(\gamma_{VG_2} + \theta) \cdot \vec{y}_0$

$\rightarrow \boxed{\dot{x}_{G2} = V_{G_2} \cdot \cos(\gamma_{VG_2} + \theta)}$ et $\boxed{\dot{y}_{G2} = V_{G_2} \cdot \sin(\gamma_{VG_2} + \theta)}$

Q.5. On a $\vec{V}_{R,2/0} \cdot \vec{y}_0 = \dot{y}_R = V_R \cdot \vec{x}_{VR} \cdot \vec{y}_0 = V_R \cdot \sin(\gamma_R + \theta) \rightarrow \boxed{\dot{y}_R = V_R \cdot \sin(\delta_R - \beta_R + \theta)}$

De même on a $\vec{V}_{F,2/0} \cdot \vec{y}_0 = \dot{y}_F = V_F \cdot \vec{x}_{VF} \cdot \vec{y}_0 = V_F \cdot \sin(\gamma_F + \theta) \rightarrow \boxed{\dot{y}_F = V_F \cdot \sin(\delta_F - \beta_F + \theta)}$

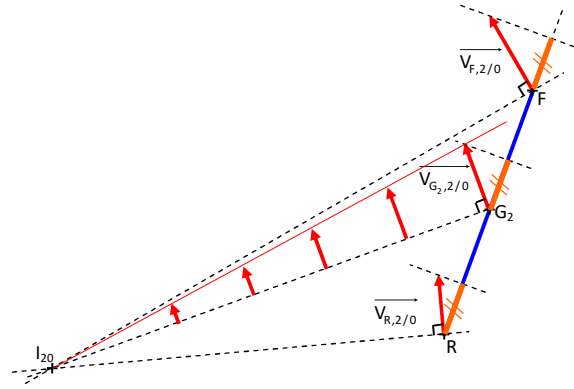
Q.6. et **Q.7.** Graphiquement on mesure 2,5 cm pour $\|\vec{G}_2\vec{F}\| = L$ avec $L = 1,5$ m. On en déduit l'échelle des distances sur le DR : 1 cm = 0,6 m. Graphiquement on mesure 8,9 cm pour $\|\vec{l}_{20}\vec{G}_2\|$ soit $\|\vec{l}_{20}\vec{G}_2\| = 5,34$ m.

Graphiquement on mesure 1,39 cm pour $\|\vec{V}_{G_2,2/0}\| = V_{G_2} = V_{amax} = 5$ km/h = 1,39 m/s. On en déduit l'échelle des vitesses sur le DR : 1 cm = 1 m/s.

Le champ des vitesses permet de dire que $\|\vec{\Omega}_{2/0}\| = \frac{\|\vec{V}_{G_2,2/0}\|}{\|\vec{l}_{20}\vec{G}_2\|} = \frac{1,39}{5,34} = 0,26$ rad/s.

Après construction, graphiquement on mesure 1,66 cm pour $\|\vec{V}_{F,2/0}\|$ soit 1,66 m/s et 1,16 cm pour $\|\vec{V}_{R,2/0}\|$ soit 1,16 m/s.

Q.8. Graphiquement on mesure 10,6 cm pour $\|\vec{l}_{20}\vec{F}\|$
 et 7,5 cm pour $\|\vec{l}_{20}\vec{R}\|$. On a donc
 $\|\vec{V}_{F,2/0}\| = \|\vec{l}_{20}\vec{F}\| \cdot \|\vec{\Omega}_{2/0}\| = 10,6 \times 0,6 \times 0,26 = 1,65 \text{ m/s}$ et
 $\|\vec{V}_{R,2/0}\| = \|\vec{l}_{20}\vec{R}\| \cdot \|\vec{\Omega}_{2/0}\| = 7,5 \times 0,6 \times 0,26 = 1,17 \text{ m/s} \rightarrow$
 ce qui est proche des valeurs trouvées question précédente.



Q.9. Fermeture géométrique : $\vec{O_1A} + \vec{AB} + \vec{BO_3} + \vec{O_3O_1} = -L_1 \cdot \vec{x}_1 - L_4 \cdot \vec{y}_4 + L_3 \cdot \vec{x}_3 - a \cdot \vec{x}_2 + b \cdot \vec{y}_2$

En projection dans la base 0 :
$$\begin{cases} -L_1 \cdot \cos\theta_{10} + L_4 \cdot \sin\theta_{40} + L_3 \cdot \cos\theta_{30} - a = 0 \\ -L_1 \cdot \sin\theta_{10} - L_4 \cdot \cos\theta_{40} + L_3 \cdot \sin\theta_{30} + b = 0 \end{cases}$$

Q.10. On a
$$\begin{cases} L_3 \cdot \cos\theta_{30} = L_1 \cdot \cos\theta_{10} - L_4 \cdot \sin\theta_{40} + a \\ L_3 \cdot \sin\theta_{30} = L_1 \cdot \sin\theta_{10} + L_4 \cdot \cos\theta_{40} - b \end{cases}$$

$$L_3^2 = (L_1 \cdot \cos\theta_{10} - L_4 \cdot \sin\theta_{40} + a)^2 + (L_1 \cdot \sin\theta_{10} + L_4 \cdot \cos\theta_{40} - b)^2$$

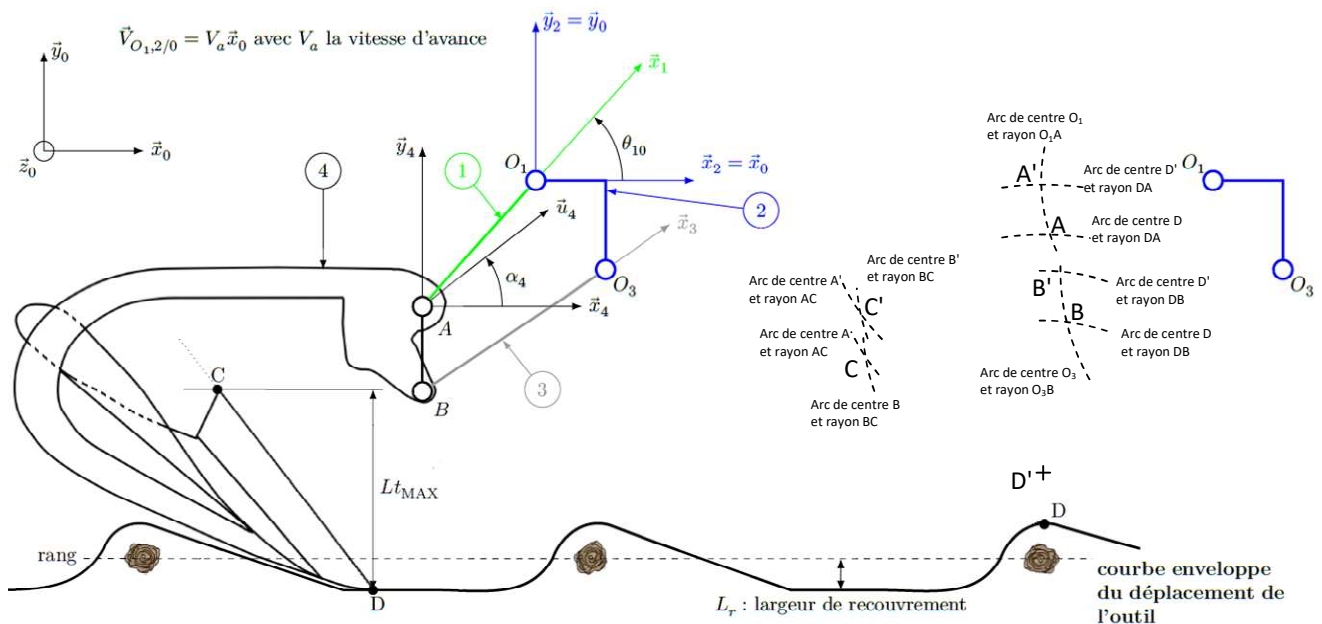
$$L_3^2 = L_1^2 \cdot \cos^2\theta_{10} + L_4^2 \cdot \sin^2\theta_{40} + a^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_4 \cdot \cos\theta_{10} \cdot \sin\theta_{40} + 2 \cdot a \cdot L_1 \cdot \cos\theta_{10} - 2 \cdot a \cdot L_4 \cdot \sin\theta_{40} \\ + L_1^2 \cdot \sin^2\theta_{10} + L_4^2 \cdot \cos^2\theta_{40} + b^2 + 2 \cdot L_1 \cdot L_4 \cdot \sin\theta_{10} \cdot \cos\theta_{40} - 2 \cdot b \cdot L_1 \cdot \sin\theta_{10} - 2 \cdot b \cdot L_4 \cdot \cos\theta_{40}$$

$$L_3^2 = L_1^2 + L_4^2 + a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot L_1 \cdot \cos\theta_{10} - 2 \cdot b \cdot L_1 \cdot \sin\theta_{10} + (2 \cdot L_1 \cdot L_4 \cdot \sin\theta_{10} - 2 \cdot b \cdot L_4) \cdot \cos\theta_{40} - (2 \cdot L_1 \cdot L_4 \cdot \cos\theta_{10} + 2 \cdot a \cdot L_4) \cdot \sin\theta_{40}$$

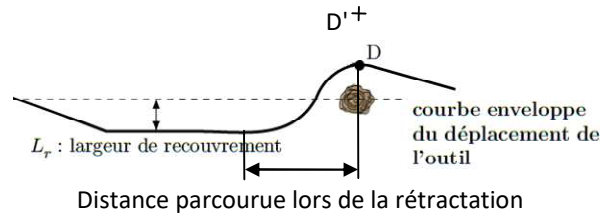
$$2 \cdot L_1 \cdot (a \cdot \cos\theta_{10} - b \cdot \sin\theta_{10}) - 2 \cdot L_4 \cdot (L_1 \cdot \cos\theta_{10} + a) \cdot \sin\theta_{40} - 2 \cdot L_4 \cdot (b - L_1 \cdot \sin\theta_{10}) \cdot \cos\theta_{40} = L_3^2 - L_1^2 - L_4^2 - a^2 - b^2$$

Soit $f_1(\theta_{10}) - f_2(\theta_{10}) \cdot \sin\theta_{40} - f_3(\theta_{10}) \cdot \cos\theta_{40} = f_4$ avec $f_1 = 2 \cdot L_1 \cdot (a \cdot \cos\theta_{10} - b \cdot \sin\theta_{10})$, $f_2 = 2 \cdot L_4 \cdot (L_1 \cdot \cos\theta_{10} + a)$,
 $f_3 = 2 \cdot L_4 \cdot (b - L_1 \cdot \sin\theta_{10})$ et $f_4 = L_3^2 - L_1^2 - L_4^2 - a^2 - b^2$

Q.11. et Q.12.



Q.13. Graphiquement on mesure 1,66 cm comme distance parcourue lors de la rétractation de l'outil soit environ 0,17 m en réalité. Avec une vitesse d'avance de V_{amax} de 1,38 m/s il faut environ 0,12 s pour que l'outil se rétracte !



Q.14. Fermeture géométrique :

$$\vec{O_1A} + \vec{AV_1} + \vec{V_1V_2} + \vec{V_2O_3} + \vec{O_3O_1} = -L_1 \cdot \vec{x}_1 + a_1 \cdot \vec{x}_1 - b_1 \cdot \vec{y}_1 + \lambda \cdot \vec{x}_5 - a_2 \cdot \vec{x}_2 - b_2 \cdot \vec{y}_2 - a \cdot \vec{x}_2 + b \cdot \vec{y}_2$$

En projection dans la base 0 :

$$\begin{cases} (-L_1 + a_1) \cdot \cos \theta_{10} + b_1 \cdot \sin \theta_{10} + \lambda \cdot \cos \theta_{50} - a_2 - a = 0 \\ (-L_1 + a_1) \cdot \sin \theta_{10} - b_1 \cdot \cos \theta_{10} + \lambda \cdot \sin \theta_{50} - b_2 + b = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \lambda \cdot \cos \theta_{50} = (L_1 - a_1) \cdot \cos \theta_{10} - b_1 \cdot \sin \theta_{10} + a_2 + a \\ \lambda \cdot \sin \theta_{50} = (L_1 - a_1) \cdot \sin \theta_{10} + b_1 \cdot \cos \theta_{10} + b_2 - b \end{cases}$$

$$\lambda^2 = ((L_1 - a_1) \cdot \cos \theta_{10} - b_1 \cdot \sin \theta_{10} + a_2 + a)^2 + ((L_1 - a_1) \cdot \sin \theta_{10} + b_1 \cdot \cos \theta_{10} + b_2 - b)^2$$

Q.15. Lorsque le dispositif de retrait est complètement rentré on a $\theta_{10} = 3^\circ \rightarrow$ angle petit.

En linéarisant à l'ordre 1 on obtient : $\lambda^2 = (L_1 - a_1 - b_1 \cdot \theta_{10} + a_2 + a)^2 + ((L_1 - a_1) \cdot \theta_{10} + b_1 + b_2 - b)^2$

$$\text{AN : } \lambda \approx \sqrt{(0,257 - 0,03 - 0,192 \times \frac{3 \cdot \pi}{180} + 0,06 + 0,105)^2 + ((0,257 - 0,03) \cdot \frac{3 \cdot \pi}{180} + 0,192 + 0,03 - 0,135)^2} = 0,394 \text{ m}$$

La course du vérin est finalement de $0,394 - 0,26 = 0,134 \text{ m}$.

Remarque : on peut aussi raisonnablement simplifier davantage en prenant θ_{10} nul alors :

$$\lambda^2 \approx (L_1 - a_1 + a_2 + a)^2 + (b_1 + b_2 - b)^2$$

$$\text{AN : } \lambda \approx \sqrt{(0,257 - 0,03 + 0,06 + 0,105)^2 + (0,192 + 0,03 - 0,135)^2} = 0,4 \text{ m}$$

La course calculée est dans ce de $0,4 - 0,26 = 0,14 \text{ m}$.

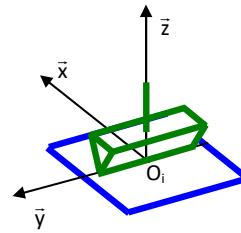
Q.16.

$$\vec{V}_{V_1, S/2} = \frac{d}{dt} \vec{V}_2 V_1 \Big|_2 = \frac{d}{dt} -\lambda \cdot \vec{x}_5 \Big|_2 = -\dot{\lambda} \cdot \vec{x}_5 - \lambda \cdot \dot{\theta}_{50} \cdot \vec{y}_5$$

Q.17. Le vérin doit faire 0,134 m en 0,12 s soit une vitesse de 1,116 m/s = 1116 mm/s $\rightarrow$ seul le vérin 4 convient cinématiquement.

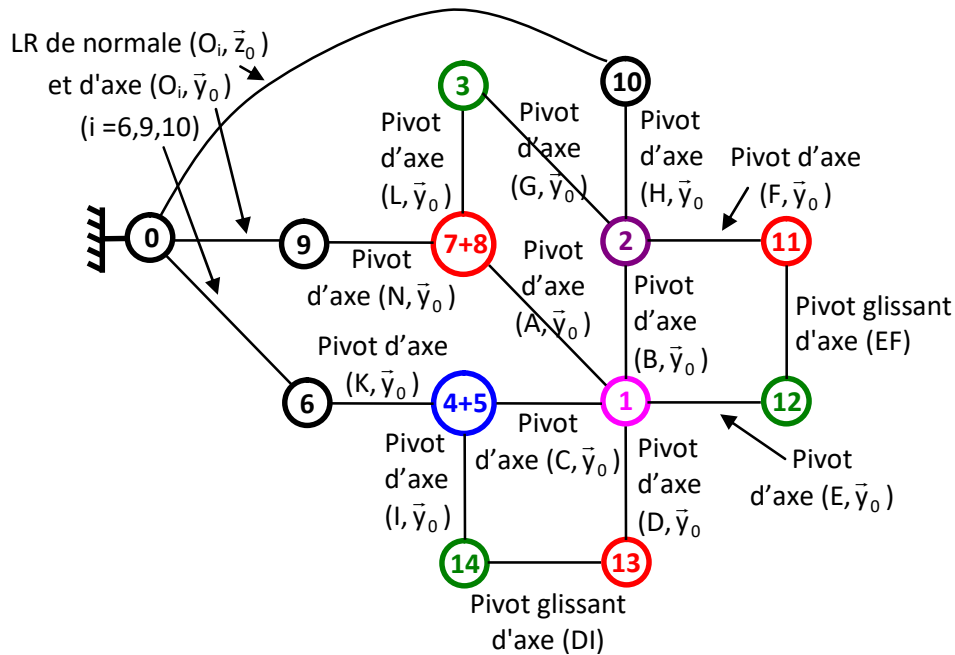
Fauteuil Whing - Corrigé

Q.1. Le contact sol/roue est un contact cylindre plan de normale $(O_i, \vec{z}_0)$ et d'axe $(O_i, \vec{y}_0)$ ($i = 6, 9, 10$) → On le modélise par un liaison linéaire rectiligne de normale $(O_i, \vec{z}_0)$ et d'axe $(O_i, \vec{y}_0)$ ($i = 6, 9, 10$).

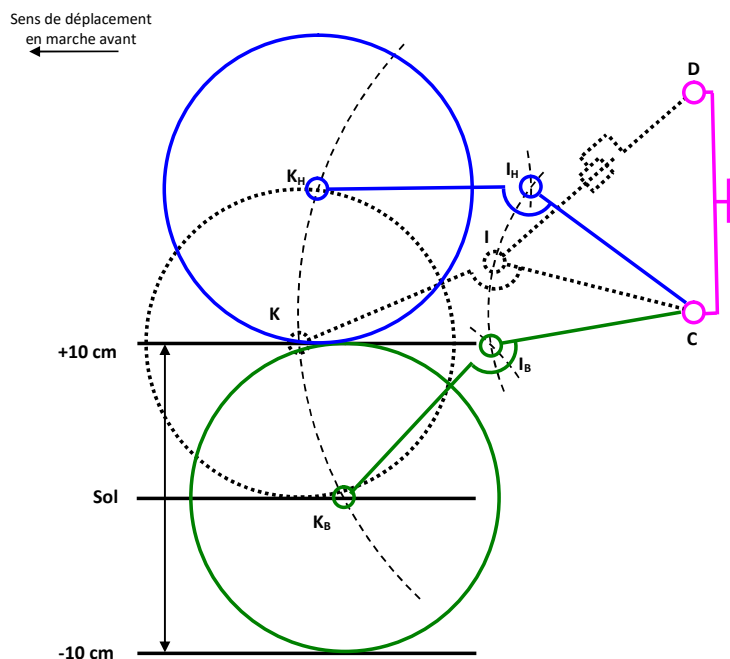


$$O_i \left\{ \begin{array}{cc} 0 & v_x \\ \Omega_y & v_y \\ \Omega_z & 0 \end{array} \right\} (\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$$

Q.2. Graphe des liaisons :

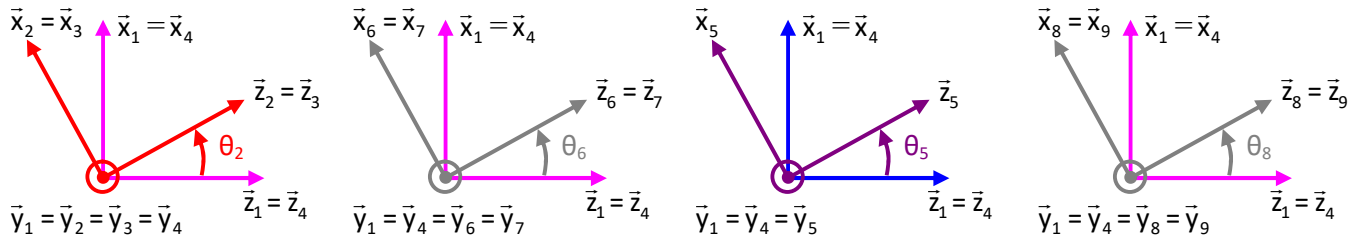


Q.3.



Q.4. On détermine l'échelle des distances à utiliser à partir de la hauteur de l'obstacle dessinée sur le DR. Graphiquement on a : course vélin = $DI_B - DI_H = 21 - 12 = 9$ cm

Q.5. course vérin 9 cm << 20 cm → le vérin peut assurer le mouvement.

Q.6. Figures géométrales :

$$\text{Q.7. } \overrightarrow{V_{C,2/1}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{BC} \Big|_1 = \frac{d}{dt} L \cdot \vec{x}_2 \Big|_1 = -L \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2 \quad (\text{calcul direct})$$

$$\text{Q.8. } \overrightarrow{V_{C,2/1}} = \overrightarrow{V_{B,2/1}} + \overrightarrow{CB} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/1}} = -L \cdot \vec{x}_2 \wedge \dot{\theta}_2 \cdot \vec{y}_2 = -L \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2 \quad (\text{champ des vitesses})$$

$$\text{Q.9. } \overrightarrow{V_{D,3/1}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{AD} \Big|_1 = \frac{d}{dt} L \cdot \vec{x}_2 \Big|_1 = -L \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2 \quad (\text{calcul direct})$$

$$\text{Q.10. On a } \overrightarrow{V_{D,3/1}} = \overrightarrow{V_{D,3/4}} + \overrightarrow{V_{D,4/1}} = \overrightarrow{V_{D,4/1}} \quad (\text{composition de mouvement})$$

$$\overrightarrow{V_{C,2/1}} = \overrightarrow{V_{C,2/4}} + \overrightarrow{V_{C,4/1}} = \overrightarrow{V_{C,4/1}} \quad (\text{composition de mouvement})$$

$$\rightarrow \overrightarrow{V_{D,4/1}} = \overrightarrow{V_{C,4/1}} = \overrightarrow{V_{C,4/1}} + \overrightarrow{DC} \wedge \overrightarrow{\Omega_{4/1}} = \overrightarrow{V_{C,4/1}} \quad \text{où } \boxed{\overrightarrow{\Omega_{4/1}} = \vec{0}} \rightarrow 4/1 \text{ est donc un mouvement de translation (circulaire ici)}$$

$$\text{Q.11. Fermeture AGFB : } \overrightarrow{AG} + \overrightarrow{GF} + \overrightarrow{FB} + \overrightarrow{BA} = \vec{0} \rightarrow q \cdot \vec{x}_2 - \lambda_7(t) \cdot \vec{x}_6 - b \cdot \vec{x}_1 + c \cdot \vec{z}_1 + a \cdot \vec{z}_1 = \vec{0}$$

$$\text{en projection dans } b_1 : \begin{cases} / \vec{z}_1 : -q \cdot \sin \theta_2 + \lambda_7(t) \cdot \sin \theta_6 + c + a = 0 \\ / \vec{x}_1 : q \cdot \cos \theta_2 - \lambda_7(t) \cdot \cos \theta_6 - b = 0 \end{cases}$$

$$\text{Q.12. } \begin{cases} (\lambda_7(t) \cdot \sin \theta_6)^2 = (q \cdot \sin \theta_2 - c - a)^2 \\ (\lambda_7(t) \cdot \cos \theta_6)^2 = (-b + q \cdot \cos \theta_2)^2 \end{cases} \rightarrow \lambda_7(t)^2 = (q \cdot \sin \theta_2 - c - a)^2 + (-b + q \cdot \cos \theta_2)^2$$

$$\rightarrow \lambda_7(t)^2 = q^2 \cdot \sin^2 \theta_2 + c^2 + a^2 - 2 \cdot q \cdot c \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot q \cdot a \cdot \sin \theta_2 + 2 \cdot c \cdot a + b^2 + q^2 \cdot \cos^2 \theta_2 - 2 \cdot b \cdot q \cdot \cos \theta_2$$

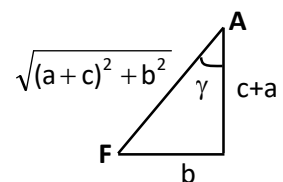
$$\rightarrow \lambda_7(t)^2 - q^2 - c^2 - a^2 - 2 \cdot c \cdot a - b^2 = -2 \cdot q \cdot (a + c) \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot b \cdot q \cdot \cos \theta_2$$

$$\rightarrow \frac{\lambda_7(t)^2 - q^2 - c^2 - a^2 - 2 \cdot c \cdot a - b^2}{2 \cdot q \cdot \sqrt{(a+c)^2 + b^2}} = -\frac{(a+c)}{\sqrt{(a+c)^2 + b^2}} \cdot \sin \theta_2 - \frac{b}{\sqrt{(a+c)^2 + b^2}} \cdot \cos \theta_2$$

$$\rightarrow \frac{\lambda_7(t)^2 - q^2 - c^2 - a^2 - 2 \cdot c \cdot a - b^2}{2 \cdot q \cdot \sqrt{(a+c)^2 + b^2}} = -\cos \gamma \cdot \sin \theta_2 - \sin \gamma \cdot \cos \theta_2$$

$$\rightarrow -\frac{\lambda_7(t)^2 - q^2 - c^2 - a^2 - 2 \cdot c \cdot a - b^2}{2 \cdot q \cdot \sqrt{(a+c)^2 + b^2}} = \sin(\gamma + \theta_2)$$

$$\rightarrow \theta_2 = \arcsin\left(\frac{-\lambda_7(t)^2 + q^2 + (c+a)^2 + b^2}{2 \cdot q \cdot \sqrt{(a+c)^2 + b^2}}\right) - \gamma \quad \text{avec } \gamma = \arctan \frac{b}{a+c}$$



$$\text{Q.13. Fermeture HEJ : } \overrightarrow{HJ} + \overrightarrow{JE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CH} = \vec{0} \rightarrow \lambda_9(t) \cdot \vec{x}_8 - i \cdot \vec{x}_5 - g \cdot \vec{x}_4 - h \cdot \vec{z}_4 - a \cdot \vec{z}_4 - d \cdot \vec{x}_4 + e \cdot \vec{z}_4 = \vec{0}$$

$$\text{en projection dans } b_1 : \begin{cases} / \vec{z}_1 : i \cdot \sin \theta_5 - \lambda_9(t) \cdot \sin \theta_8 - h - a + e = 0 \\ / \vec{x}_1 : -i \cdot \cos \theta_5 + \lambda_9(t) \cdot \cos \theta_8 - g - d = 0 \end{cases}$$

$$\rightarrow \lambda_g(t)^2 = (i.\sin\theta_5 - h - a + e)^2 + (i.\cos\theta_5 + g + d)^2$$

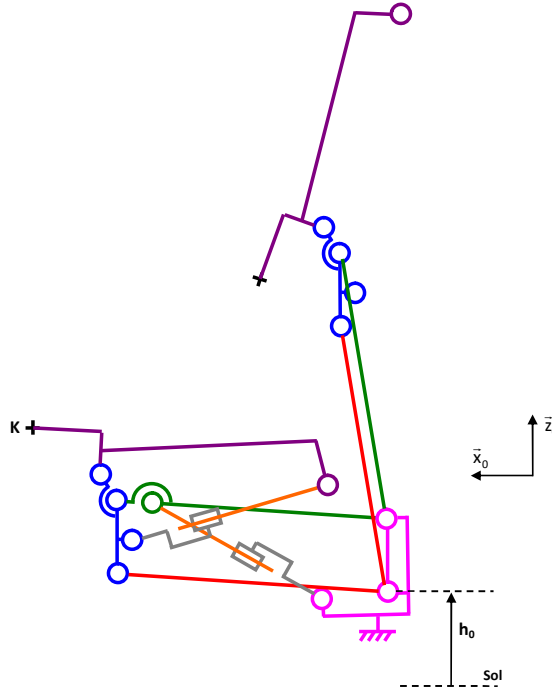
$$\text{Q.14. } \vec{BE} \cdot \vec{z}_1 = (\vec{BA} + \vec{AD} + \vec{DE}) \cdot \vec{z}_1 = (a.\vec{z}_1 + L.\vec{x}_2 + g.\vec{x}_4 + h.\vec{z}_4) \cdot \vec{z}_1 = a - L.\sin\theta_2 + h$$

$$\vec{EK} \cdot \vec{z}_1 = (-j.\vec{x}_5 - k.\vec{z}_5) \cdot \vec{z}_1 = j.\sin\theta_5 - k.\cos\theta_5$$

$$\rightarrow H = h_0 + a - L.\sin\theta_2 + h + j.\sin\theta_5 - k.\cos\theta_5$$

$$\text{AN : } H = 160 + 125 - 455.\sin(-80) + 40 + 116.\sin(-110) - 72.\cos(-110^\circ) = 688 \text{ mm}$$

Q.15. Graphiquement on obtient $H = 688 \text{ mm}$ (idem Q14)



$$\text{Q.16. } \vec{V}_{G_p, \text{patient}/1} = \frac{d}{dt} \vec{BG}_p \Big|_1 = \frac{d}{dt} L.\vec{x}_2 - x_p.\vec{x}_4 + z_p.\vec{z}_4 \Big|_1 = -L.\dot{\theta}_2.\vec{z}_2$$

$$\vec{\Gamma}_{G_p, \text{patient}/1} = \frac{d}{dt} -L.\dot{\theta}_2.\vec{z}_2 \Big|_1 = -L.\ddot{\theta}_2.\vec{z}_2 - L.\dot{\theta}_2^2.\vec{x}_2$$

$$\text{Q.17. On a } \|\vec{V}_{G_p, \text{patient}/1}\| = |L.\dot{\theta}_2| \text{ et } \|\vec{\Gamma}_{G_p, \text{patient}/1}\| = L.\dot{\theta}_2^2 \text{ si } \dot{\theta}_2 = \text{cte}$$

$$\text{AN : } \|\vec{V}_{G_p, \text{patient}/1}\| = |L.\dot{\theta}_2| = 0,455 \times (3,8 \cdot \frac{\pi}{180}) = 0,031 \text{ m/s} > 30 \text{ cm/s} \rightarrow \text{limite exigence validée}$$

$$\|\vec{\Gamma}_{G_p, \text{patient}/1}\| = L.\dot{\theta}_2^2 = 0,455 \times (3,8 \cdot \frac{\pi}{180})^2 = 2.10^{-3} \text{ m/s}^2 \ll g \rightarrow \text{exigence validée}$$

$$\text{Q.18. } \vec{V}_{J,5/1} = \frac{d}{dt} \vec{AJ} \Big|_1 = \frac{d}{dt} L.\vec{x}_2 + g.\vec{x}_4 + h.\vec{z}_4 + i.\vec{x}_5 \Big|_1 = -L.\dot{\theta}_2.\vec{z}_2 - i.\dot{\theta}_5.\vec{z}_5$$

$$\text{Q.19. } \vec{\Gamma}_{J,5/1} = \frac{d}{dt} \vec{V}_{J,5/1} \Big|_1 = \frac{d}{dt} -L.\dot{\theta}_2.\vec{z}_2 - i.\dot{\theta}_5.\vec{z}_5 \Big|_1 = -L.\ddot{\theta}_2.\vec{z}_2 - L.\dot{\theta}_2^2.\vec{x}_2 - i.\ddot{\theta}_5.\vec{z}_5 - i.\dot{\theta}_5^2.\vec{x}_5$$

Q.20. S'il n'y a pas de mouvement relatif de la pièce 5 par rapport à la pièce 4 ($\overrightarrow{\Omega_{5/4}} = \vec{0}$)

$$\overrightarrow{V_{J,4/1}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{AJ} \Big|_1 = \frac{d}{dt} L \cdot \vec{x}_2 + g \cdot \vec{x}_4 + h \cdot \vec{z}_4 + i \cdot \vec{x}_5 \Big|_1 = -L \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2$$

$$\overrightarrow{\Gamma_{J,4/1}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{V_{J,4/1}} \Big|_1 = \frac{d}{dt} -L \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2 \Big|_1 = -L \cdot \ddot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2 - L \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot \vec{x}_2$$

Q.21. $\overrightarrow{V_{J,5/4}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{EJ} \Big|_4 = \frac{d}{dt} i \cdot \vec{x}_5 \Big|_4 = -i \cdot \dot{\theta}_5 \cdot \vec{z}_5$

$$\overrightarrow{\Gamma_{J,5/4}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{V_{J,5/4}} \Big|_4 = \frac{d}{dt} -i \cdot \dot{\theta}_5 \cdot \vec{z}_5 \Big|_4 = -i \cdot \ddot{\theta}_5 \cdot \vec{z}_5 - i \cdot \dot{\theta}_5^2 \cdot \vec{x}_5$$

$$2 \cdot \overrightarrow{\Omega_{4/1}} \wedge \overrightarrow{V_{J,5/4}} = \vec{0} \wedge -i \cdot \dot{\theta}_5 \cdot \vec{z}_5 = \vec{0}$$

Q.22. On retrouve facilement ici $\overrightarrow{\Gamma_{J,5/1}} = \overrightarrow{\Gamma_{J,5/4}} + \overrightarrow{\Gamma_{J,4/1}} + 2 \cdot \overrightarrow{\Omega_{4/1}} \wedge \overrightarrow{V_{J,5/4}}$